Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Marburg-Lahn
(Direktor Professor Dr. F. Klewitz.)

Untersuchungen über die Verdaulichkeit frischen und alten Brotes

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DES DOKTORGRADES
IN DER GESAMTEN MEDIZIN DER
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER PHILIPPS-UNIVERSITÄT MARBURG

vorgelegt von

Lita Plagemann
aus Stettin.

Marburg (Lahn) 1938
Buchdruckerei Hermann Bauer

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 23. November 1938.

Referent: Dozent Dr. Habs.

Korreferent: Prof. Dr. Klewitz.

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät.

Läßt man frisches Brot einige Tage liegen, so treten an ihm die charakteristischen Erscheinungen des Altbackenwerdens auf, d. h. die anfangs weiche knetbare Brotkrume wird hart und bröckelig. Erklären lassen sich diese Veränderungen des Altbackenwerden aus kolloidchemischen Vorgängen. In seinem Aufbau ist das Brot ein sehr zusammengesetztes kolloidchemisches System. Es besteht aus einem Gerüst aus Broteiweiß, dem Kleber, der beim Anrühren des Brotteiges gequollen und beim nachfolgenden Backen geronnen ist. In dieses Maschenwerk aus Eiweiß ist die beim Backprozeß durch Wasseraufnahme verkleisterte Stärke eingeschlossen. Von kolloidalen Lösungen ist nun allgemein bekannt, daß sie beim Altern in ihrer Struktur fester werden und Wasser auspressen — ein Vorgang, der als Synärese bezeichnet wird. „Dasselbe geschieht beim Altbackenwerden des Brotes; die hydratisierte Stärke gibt allmählich einen Teil ihres Wassers ab, das anscheinend vom Klebergerüst aufgenommen wird." Hierbei tritt die schon erwähnte Konsistenzänderung der Brotkrume auf.

Es läßt sich denken, daß diese beim Altbackenwerden vor sich gehenden Veränderungen einen Einfluß auf die Verdaulichkeit haben, denn auch bei der fermentativen Aufspaltung im Verdauungskanal handelt es sich um physikalisch-chemische Prozesse. Zu erwarten ist, daß frisches und altes Brot sich bei der Aufspaltung in resorbierbare Grundstoffe verschieden verhalten.

Wenn wir die Zerkleinerung des frischen Brotes betrachten, so steht dieser Zerkleinerung die Klebrigkeit der frischen Brotkrume entgegen, eine Eigenschaft, die bewirkt, daß es immer wieder zu einer Klumpenbildung kommt. Dazu bedarf die weiche Krume zur Formung eines Bissens keiner besonderen Kautätigkeit. Das an sich schon leicht klumpende Brot wird also wenig zerkleinert, bietet den einwirkenden Speichelfermenten nur eine kleine Oberfläche dar, und die kurze Verweildauer im Munde bewirkt überdies nur eine ungenügende Durchtränkung des Bissens mit Speichel. Kommt das Brot nach dieser relativ geringen Vorverdauung in den Magen, so können hier Pepsin und Salzsäure ebenfalls nur ungenügend auf den groben, verklumpten Speisebrei einwirken. Das die

Stärke umhüllende Eiweißgerüst wird nur unvollkommen angegriffen und abgebaut, es entfällt damit wieder die Vorbedingung für eine genügend intensive Einwirkung der Bauchspeichel- und Dünndarmfermente auf Eiweiß und Kohlehydrate des Brotes. Die in den oberen Darmabschnitten nicht genügend aufgespaltenen und resorbierten Kohlehydrate unterliegen in den unteren Darmabschnitten der Bakterieneinwirkung, es kommt zu einer überstarken Gärung, die sich bis zu dem ausgeprägten Bild der Gärungsdyspepsie mit Uebelkeit, Erbrechen, Poltern im Leib, starken Blähungen und den typischen Gärungsstühlen steigern kann.

Aelteres Brot verhält sich nun bei der Verdauung ganz anders. Seine größere Härte bedingt eine intensivere Kauarbeit und eine reichlichere Speichelsekretion. Der Bissen wird gründlicher mit Speichel durchmischt und das beim Kauen kleinkrümelig zerfallende Brot bietet den reichlich vorhandenen Speichelfermenten eine große Angriffsfläche. Im Magen zerfällt der Bissen leicht wieder in kleinste Teile, die Magenfermente können ausgiebig ihre Wirkung auf das Klebergerüst entfalten. Bei der nachfolgenden Verdauung im oberen Dünndarm wird durch die den Verdauungssäften nun besser zugängliche Stärke die Kohlehydratverdauung erleichtert und verstärkt, die im Magen begonnene Eiweißspaltung vollkommen bis zu resorptionsfähigen Endprodukten durchgeführt. Beim älteren Brot also kein verlängertes Verweilen im Darm, gute Ausnutzung des Eiweiß und der Kohlehydrate und dadurch Fortfall einer Darmreizung durch verstärkte Gärungsprozesse.

Verschiedene Faktoren werden die geschilderten Verdauungsvorgänge nun noch beeinflussen und verändern, psychische, nervöse und reflektorische Einflüsse bedingen Aenderungen der Kautätigkeit, der Verweildauer im Munde, bewirken Schwankungen in der Speichselsekretion sowohl in der Menge wie auch in der Konzentration. Ebenso sind auch die Motilitäts- und Sekretionsvorgänge in Magen und Darm diesen sehr variablen, im Versuch nicht exakt meßbaren und steuerbaren Einflüssen unterworfen. Der wesentlichste Vorgang bei der Verdauung, die durch Fermente bewirkte Aufspaltung des Brotes, ist so im Stoffwechselversuch gar nicht unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen zu messen. Dieser Mangel haftet auch den bisher einzelnen Versuchen an, die von Mancini über Verdaulichkeit frischen und altbackenen Brotes angestellt wurden.

Mancini ließ von 2 Stücken Brot zu je 10 g, das eine innerhalb der ersten 12 Stunden nach dem Backen 1 Min. lang kauen, das andere wurde ebenso lange gekaut, nachdem es

48 Std. lang im Trockenschrank bei 37 Grad bis 40 Grad Celsius gehalten worden war. Das gekaute Brot wurde in ein Gefäß befördert, in welches auch das dann gewonnene Mundspülwasser gelangte. Diese Mischung wurde 5 Min. lang gekocht, dann auf 100 ccm aufgefüllt und 24 Std. sich selbst überlassen. In einem aliquoten Teil der dekantierten Flüssigkeit wurde dann der Glucosegehalt durch Titration mit Fehlingscher Lösung bestimmt. Wie hier das künstlich getrocknete Brot so wurde auch das spontan altbackengewordene Brot mit frischem verglichen. Bei weiteren Versuchen wurden die Vergleichsstücke je solange gekaut, bis sich der Deglutitionsreiz einstellte. Dann wurde verfahren wie vorher. Es ergab sich, daß das Brot mit dem Altbackenwerden an Speichelverdaulichkeit zunahm.

Mancini prüft also ausschließlich nur die Kohlehydratverdaulichkeit des Brotes und vernachlässigt ganz den mit ca. 5% immerhin beträchtlichen Eiweißgehalt. Für die Kohlehydrate wird auch nur die Speichelverdaulichkeit untersucht. Nicht beachtet wird fernerhin die Frage, ob nach der Pepsin-Salzsäureeinwirkung auf das Klebergerüst die in dieses Maschenwerk eingeschlossenen Kohlehydrate durch diastatische Fermente besser gespalten werden können — analog den Verhältnissen im oberen Dünndarm. Weiter ist nicht meßbar die wechselnde Konzentration und Menge des Speichels und damit die zur Wirkung kommende Fermentmenge. Bei einem Teil der Versuche ist ferner die Dauer der Zerkleinerung verschieden, da der Deglutitionsreiz, der als zeitliche Begrenzung der Zerkleinerung gewählt wurde, selbst bei aufeinanderfolgenden Bissen nicht nach ganz gleichen Zeitpunkten auftritt. — Als Italiener dürfte Mancini seine Versuche mit Weißbrot durchgeführt haben, für das andere Versuchsbedingungen gelten werden als für das bei uns vorwiegend gebrauchte Mischbrot.

Mancinis Versuchsreihen klären die Spaltbarkeit des Brotes bei der Verdauung also nur unvollkommen, indem nur die Mundverdauung der Kohlehydrate geprüft wird. Wie im menschlichen Stoffwechselversuch nicht anders möglich, ist überdies bei den vergleichenden Versuchen die Fermentmenge ungleich groß, ihre Wirkungsdauer wechselnd und die Angriffsfläche für die Fermente durch ungleichmäßige Zerkleinerung des Brotes stets verschieden. Nur im künstlichen Verdauungsversuch lassen sich völlig gleichbleibende Bedingungen schaffen. Diesen Weg habe ich daher gewählt, um die fermentative Spaltbarkeit der Kohlehydrate wie auch des Eiweiß in frischem und älterem Brot zu untersuchen.

Methodik.

Die Untersuchungen werden an handelsüblichem Bäckerbrot durchgeführt. Das Brot, ein Roggenweizenmehlmischbrot wurde unmittelbar nach der Herstellung, sowie am 2. Tag, 5. Tag und am 10. Tag der Aufbewahrung dem künstlichen Verdauungsversuch unterworfen. Stets wurde die Krume des bei Zimmertemperatur (22 Grad) unverschlossen aufbewahrten Brotes verwandt, der der Schnittfläche benachbarte ausgetrocknete Teil der Brotkrume vor Versuchsbeginn entfernt. Zerkleinerung des Brotes durch Passage durch das mittelgroße Sieb einer Fleischmaschine. Durchführung der künstgichen Verdauung im Wasserbad von 37 Grad, wobei durch ständiges Rühren für möglichst weitgehende Verteilung des zugesetzten Brotes und für gleichmäßige Durchmischung der Versuchsflüssigkeit gesorgt wurden.

Verwandte Fermente: Maltin Schering-Kahlbaum, Pankreon Rhenania, und Pepsin DAB VI.

Genauere Angaben über die Versuchsanordnung bei den einzelnen Versuchen.

Zuckerbestimmung im Filtrat in Doppelbestimmungen nach Hagedorn-Jensen. Berechnung als Traubenzucker in Prozenten der Versuchsflüssigkeit; von einer Umrechnung auf Maltose wurde abgesehen.

Bestimmung des Nichteiweißstickstoffs im Halbmikroverfahren nach Kjeldahl. Enteiweißung mit kolloidalem Eisenhydroxyd (Rona-Michaelis). Veraschung unter Perhydrolzusatz, wobei der geringe N-gehalt bei der Berechnung berücksichtigt wurde. Berechnung als mg% N in der Versuchsflüssigkeit.

I. Diastatische Kohlehydratspaltung.

Die Untersuchung wird durchgeführt an einem nach den Verordnungen über Zusatzmehle (RGbl. I, 1937, 285) hergestellten Roggen-Weizenmehlmischbrot. Aus dem Backprozeß gehen die Kohlehydratbestandteile des Mehlgemisches als verkleisterte oder hydratisierte Stärke hervor; beim Altbackenwerden des Brotes tritt eine erneute Umformung und teilweise Abscheidung durch Wasserabgabe wahrscheinlich an das Klebergerüst ein. Im künstlichen Verdauungsversuch soll nun der Einfluß dieser kolloidalen Verschiebung auf die fermentative Spaltung der Kohlehydrate untersucht werden.

Versuch I prüft die mit Alterung der Brotkrume auftretenden Unterschiede in der Kohlehydrat-Spaltung durch p f l a n z l i c h e Diastase.

Versuch I.

Versuchsanordnung: 900 g H_2O + 100 ccm m/3 Phosphat* (P_H = 5,4) + 1 g Diastase + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol.

Alter des Brotes	Traubenzuckergehalt der Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	3 Std.
frisch	0,10	0,60	0,85	1,08
2. Tag	0,18	0,73	0,91	1,16
5. Tag	0,26	0,78	1,02	—
10. Tag	0,30	0,78	1,08	1,57

Bei Durchsicht der Tabelle fällt zunächst auf, daß die „Sofort"-Werte mit dem Alter des Brotes von Tag zu Tag ansteigen. Es ist anzunehmen, daß dieses Verhalten teilweise auf eine Spontanspaltung der Stärke beim Aufbewahren des Brotes, vor allem aber auf eine Erleichterung für den Uebertritt niedermolekularer Kohlehydrate in die Versuchsflüssigkeit zurückzuführen ist.

Wenn man nun weiter die Kohlehydratspaltung an den einzelnen Versuchstagen miteinander vergleicht, so ergibt sich deutlich, daß mit zunehmender Alterung des Brotes ein Ansteigen der Zuckerwerte verbunden ist. Die Beurteilung dieses Anstieges muß die unterschiedliche Höhe der Anfangswerte berücksichtigen. Auch dann ist eine Spaltbarkeitserhöhung mit Alterung des Brotes noch deutlich nachweisbar. Es kommt hinzu, daß in Versuch I, der mit relativ großer Fermentmenge durchgeführt wurde, in den späteren Stunden des Versuchs durch Anhäufung der Spaltprodukte eine Hemmung des weiteren Fortschrittes der Kohlehydratspaltung zustandekommt. Die vorhandenen Unterschiede im Glykolyseverlauf verwischen sich dadurch im 2- und 3-Stunden-Wert mehr und mehr. Versuch II wird daher mit 0,1 g Diastase durchgeführt.

Versuch II.

Versuchsanordnung: 900 g H_2O + 100 ccm m/3 Phosphat (P_H = 5,4) + 0,1 g Diastase + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol.

Alter des Brotes	Traubenzuckergehalt der Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	3 Std.
frisch	0,02	0,06	0,22	0,25
2. Tag	0,03	0,12	0,26	0,36
5. Tag	0,06	0,23	0,28	0,43
10. Tag	0,10	0,26	0,39	0,51

Entsprechend der Verkleinerung der Fermentmenge läuft die Spaltung im Versuch II langsamer ab. Die erreichten End-

*) Puffergemisch nach Sörensen.

werte sind daher niedriger, doch die Unterschiede im 2- und 3-Stunden-Wert wesentlich größer. Am 10. Tag ist nach 3stündiger Diastaseverdauung doppelt soviel Zucker in der Untersuchungsflüssigkeit gelöst wie am 1. Tag.

Die bisherigen Versuche haben ergeben, daß tatsächlich eine Abhängigkeit der Kohlehydratspaltbarkeit von der Alterung des Brotes besteht, in der Art, daß mit Altbackenwerden des Brotes eine erhöhte Spaltbarkeit auftritt. Es kann gegen diese Versuche eingewendet werden, daß sie nicht ohne weiteres auf die Verdauung im Magendarmkanal übertragen werden können. Gänzlich andere Verhältnisse bei der tierischen Verdauung, die durch das bei anderem P_H-Optimum ($P_H = 6{,}8$) wirkende Ferment und den für diese Wirksamkeit notwendigen NaCl-Zusatz gegeben sind, machen einen künstlichen Verdauungsversuch mit Pankreasamylase erforderlich.

Versuch III und Versuch IV.

Versuchsanordnung: 900 g H_2O + 100 ccm m/3 Phosphat ($P_H = 6{,}8$) + 1,0 g NaCl + 0,1 g Pankreon + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol.

Versuch III

Alter des Brotes	Traubenzuckergehalt der Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	3 Std.
frisch	0,03	0,26	0,52	0,79
2. Tag	0,07	0,41	0,85	1,36
5. Tag	0,21	0,85	1,16	1,39
10. Tag	0,38	1,12	1,30	1,54

Versuch IV

Alter des Brotes	Traubenzuckergehalt der Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	3 Std.
frisch	0,05	0,37	0,62	0,89
2. Tag	0,07	0,44	0,80	1,27
5. Tag	0,37	0,96	1,25	1,43
10. Tag	0,49	1,12	1,38	1,70

Die Ergebnisse des künstlichen Verdauungsversuchs bei Verwendung von Pankreasamylase sind gleichartig den vorher bei pflanzlicher Diastase erhobenen, mit dem einen Unterschied, daß die mit Alterung des Brotes auftretenden Aenderungen im Glykolyseverlauf bei Pankreonanwendung noch ausgesprochener werden; so steigt in Versuch III der 3-Stunden-Wert von 0,79 am 1. Tag auf 1,54 am 10. Tag, in Versuch IV der 3-Stunden-Wert von 0,89 am 1. Tag auf 1,70 am 10. Tag. Ueberhaupt ist die Kohlehydratspaltung bei Verwen-

dung von Pankreon wesentlich stärker als bei Verwendung von Maltin.

Die Anfangswerte steigen bei der Pankreonverdauung ebenso wie bei der Maltinverdauung vom 1. zum 10. Tag an, allerdings ist diese Steigerung bei der Pankreonwirkung sehr viel ausgeprägter als bei der Diastasewirkung des Maltin. Die Erklärung hierfür ist wohl nicht allein in spontaner Glykolyse zu suchen, sondern darin, daß die Pankreasdiastase schon in der kurzen zwischen Versuchsbeginn und 1. Probeentnahme liegenden Zeit unter den günstigen Bedingungen der älteren Brotkrume ihre verdauende Wirkung ausüben kann.

Im menschlichen Verdauungstractus haben wir es nun nicht mit isolierter Wirkung der Pankreasdiastase zu tun, stets geht eine Pepsinverdauung voraus. Wenn wir die Ursache besserer Verdaulichkeit in Kolloidzustandsänderungen sehen, so muß es sich hierbei nicht unbedingt nur um Zustandsänderungen der kolloidalen Kohlehydrate handeln; es wäre durchaus denkbar, daß auch kolloidchemische Aenderungen des Klebergerüstes mit dafür verantwortlich zu machen sind. In diesem Falle müßte eine Vorverdauung mit Pepsin die unterschiedliche Kohlehydratspaltung an den einzelnen Versuchstagen zum Verschwinden bringen.

Versuch V und VI.

Versuchsanordnung: 1000 H_2O + 33 ccm HCl (3,7 %) + 1 g Pepsin + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol. Nach 2 Std. Neutralisation mit 4 % NaOH, Pufferung mit 100 ccm m/3 Phosphat ($P_H = 6{,}8$) + 1 g NaCl + 0,1 g Pankreon.

Versuch V.	Pepsinverdauung:			Pankreonverdauung:		
Alter des Brotes	Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.
frisch	0,16	0,16	0,37	0,70	0,94	1,45
2. Tag	0,20	0,27	0,37	0,82	1,13	1,50
5. Tag	0,22	0,27	0,51	1,02	1,46	1,89
10. Tag	0,30	0,41	0,56	1,37	1,74	2,16

Versuch VI.	Pepsinverdauung:			Pankreonverdauung:		
Alter des Brotes	Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.
frisch	0,13	0,13	0,26	0,63	0,87	1,35
2. Tag	0,20	0,27	0,33	0,82	1,13	1,55
5. Tag	0,22	0,31	0,52	1,10	1,48	2,00
10. Tag	0,34	0,45	0,61	1,44	1,85	2,28

Die Unterschiede zwischen der Aufspaltung frischen und altbackenen Brotes bleiben durchaus bestehen; altbackenes Brot bleibt auch nach peptischer Vorverdauung der diastatischen Spaltung zugänglicher als das frische. Auf die Vorverdauung erfolgt nach der Neutralisation ein sprunghafter Anstieg der Kohlehydratwerte in der Versuchsflüssigkeit, der offensichtlich auf Erleichterung der Diffusion bei Aenderung des kolloidalen Milieus zurückzuführen ist.

Versuch VII und VIII.

Versuchsanordnung: 1000 H_2O + 33 ccm HCl (3,7%) + 1,0 g Pepsin + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol. Nach 3 Stunden Neutralisation mit 4% NaOH, Pufferung mit 100 ccm m/3 Phosphat (P_H = 6,8) + 1 g NaCl + 0,1 g Pancreon.

Versuch VII.

Alter des Brotes	Pepsinverdauung: Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	3 Std.	Pankreonverdauung: Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.
frisch	0,20	0,37	1,45	1,75	2,20
2. Tag	0,28	0,52	1,50	1,95	2,45
5. Tag	0,40	0,61	1,57	2,00	2,56
10. Tag	0,54	0,66	1,65	2,12	2,70

Versuch VIII.

Alter des Brotes	Pepsinverdauung: Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	3 Std.	Pankreonverdauung: Traubenzuckergehalt d. Versuchsflüssigkeit in %, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.
frisch	0,18	0,32	1,30	1,68	2,10
2. Tag	0,26	0,44	1,40	1,85	2,30
5. Tag	0,39	0,54	1,52	1,88	2,40
10. Tag	0,51	0,58	1,60	1,95	2,50

In den Versuchen VII und III wurde lediglich die Pepsinverdauung um 1 Stunde verlängert, bei sonst gleichbleibenden Bedingungen. Die mit Alterung des Brotes günstiger werdende Kohlehydratverdaulichkeit bleibt vorhanden. Längere Vorverdauung mit Pepsin hat eine Erhöhung sämtlicher Zuckerwerte am 1.—10. Versuchstag zur Folge.

II. Peptische Eiweißspaltung.

Der Eiweißgehalt des Brotes von etwa 5% ist neben dem Kohlehydratgehalt von besonderer Bedeutung. Die kolloidale Zustandsverschiebung, die das Brot beim Altern erfährt, läßt vermuten, daß auch die fermentative Spaltung des Eiweiß eine

Aenderung durchmacht. Es müßte geprüft werden, ob beim älteren Brot die Einwirkung eiweißspaltender Fermente entsprechend der Wirkung der diastatischen Fermente eine Erhöhung der resorbierbaren Eiweißspaltprodukte ergibt.

Versuch IX und X.

Versuchsanordnung: 1000 ccm H_2O + 33 ccm HCl (3,7 %) + 1 g Pepsin + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol. Nach Neutralisation mit 4 % NaOH Pufferung mit 100 ccm m/3 Phosphat ($P_H = 6,8$) + 1 g NaCl + 0,1 g Pankreon.

Versuch IX.

Alter des Brotes	Pepsinverdauung: Reststickstoff in mg % der Versuchsflüssigkeit nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	2 Std.	Pankreonverdauung: Reststickstoff in mg % der Versuchsflüssigkeit nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	2 Std.
frich	2,1	12,3	18,7	28,6
2. Tag	2,9	21,7	28,6	36,5
5. Tag	6,6	26,3	35,4	41,1
10. Tag	8,1	32,7	38,7	41,7

Versuch X.

Alter des Brotes	Pepsinverdauung: Reststickstoff in mg % der Versuchsflüssigkeit nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	3 Std.	Pankreonverdauung: Reststickstoff in mg % der Versuchsflüssigkeit nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	2 Std.
frisch	3,0	9,0	17,2	27,0
2. Tag	2,8	15,3	25,9	28,8
10. Tag	11,8	23,1	31,8	41,1

Betrachten wir nun das Ergebnis, das sich bei künstlicher Verdauung der Brotkrume mit Pepsin und anschließender Pankreonverdauung ergibt, so ist ein ähnliches Bild wie in den Diastaseversuchen vorhanden. Auch die Eiweißverdauung erfährt mit Alterung des Brotes eine Erhöhung. Ebenso wie in den Glykolyseversuchen beobachten wir einen sprunghaften Anstieg nach Aenderung des kolloidalen Milieus durch die Neutralisation, bedingt durch plötzlich in Lösung gehende Spaltprodukte.

Im Gegensatz zur Glykolyse erreicht die Eiweißspaltung wie Versuch IX zeigt ihre Maximalwerte bereits mit dem 5. Tag. Die Erhöhung der Eiweißspaltbarkeit liegt also schon vor der etwa mit dem 7.—9. Tag auftretenden Beeinträchtigung des Brotgeschmackes durch das Altbackenwerden.

Versuch XI und XII.

Versuch XI.

Versuchsanordnung: 1000 H_2O + 33 ccm HCl (3,7 %) + 0,4 g Pepsin + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol.

Alter des Brotes	Reststickstoff in mg % der Versuchsflüssigkeit, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	3 Std.	4 Std.
frisch	2,3	7,8	11,8	16,7	19,9
2. Tag	3,4	10,5	18,1	24,8	28,1
5. Tag	5,0	18,9	25,8	33,7	35,8
10. Tag	5,5	20,9	27,7	35,8	35,6

Versuch XII.

Versuchsanordnung: 1000 ccm H_2O + 33 ccm HCl (3,7 %) + 0,2 g Pepsin + 100 g Brotkrume + 15 ccm Toluol.

Alter des Brotes	Reststickstoff in mg % der Versuchsflüssigkeit, nach einer Versuchsdauer von: 0 Std.	1 Std.	2 Std.	3 Std.	4 Std.
frisch	2,0	6,7	9,3	13,6	17,0
2. Tag	3,4	11,3	10,5	22,5	27,0
5. Tag	4,6	17,4	23,7	29,3	31,8
10. Tag	5,6	18,9	26,3	29,1	31,5

In diesen Versuchen ist ausschließlich Pepsinverdauung vorgenommen. Bei sonst gleicher Versuchsanordnung wird die Verdauungszeit auf 4 Std. verlängert und eine Untersuchung mit 0,4 und 0,2 g Pepsin vorgenommen.

Wir haben in Versuch XI und XII ein übersichtliches Bild der Eiweißverdauung bei Pepsinspaltung am 1., 2., 5. und 10. Tag nach vollendetem Backprozeß vor uns. Die Eiweißspaltung zeigt offensichtlich einen starken Anstieg mit Alterung des Brotes. Dieser Zusammenhang zwischen Alter des Brotes und Eiweißspaltung zeigt verschiedene Phasen. Die größte Umwandlung des kolloidalen Brotsystems liegt offenbar zwischen 1.—2. Tag für das Klebergerüst, eine Tatsache, der wir ja bereits bei der Kohlehydratspaltung begegneten.

Wenn wir sehen, daß die Ursache der erhöhten Spaltbarkeit bei zunehmender Alterung des Brotes in physikalisch-chemischen Zustandsänderungen der Brotkolloide zu suchen ist, so können wir zur Begründung dieser Annahme eine weitere Beobachtung anführen. Bei frischer Brotkrume bleiben auch nach längerer Verdauung noch größere Brotpartikel in der Untersuchungsflüssigkeit sichtbar und lassen sich bei stärkstem Umrühren nicht zum Verschwinden bringen. Dagegen ist bereits am 2. Tag die Brotkrume feiner verteilt und am 10. Tag zeigt sich lediglich eine gleichmäßig milchige Auf-

schwemmung der Brotbestandteile in der Lösung. Durch diese günstigere Verteilung sind die Bedingungen für Fermentwirkungen sehr viel bessere am 2. als am 1. Versuchstag. —

Gegen die in dieser Arbeit mitgeteilten Versuche kann der Einwand erhoben werden, daß nicht ausschließlich die mit Alterung des Brotes auftretenden Kolloidzustandsänderungen Ursache der erhöhten Spaltbarkeit wären, sondern daß dieses Ergebnis durch Austrocknung und dadurch Konzentrationserhöhung der Brotkrume hervorgerufen würde. Eine Prüfung des Wasserverlustes an den einzelnen Versuchstagen ergab nun folgendes:

Versuchsanordnung: Brotkrume wird nach Zerkleinerung auf halbierte Objektträger dünn ausgestrichen und im Wiegeglas bei 110 Grad getrocknet. Stets Fünffachbestimmungen.

Trockensubstanzgehalt:

1. Tag	2. Tag	5. Tag	10. Tag
54,72%	54,90%	55,58%	55,15%

Der Wasserverlust liegt fast noch innerhalb der Fehlergrenze, er beträgt im Höchstfalle wie zwischen 1. und 5. Tag 0,86%. Eine merkliche Konzentrationserhöhung besteht also nicht. Das Versuchsergebnis ist unabhängig von Wasserverdunstung oder Substanzverlust durch Lagerung des Brotes entstanden.

Zusammenfassung.

Die Arbeit untersucht die Unterschiede der fermentativen Spaltung von Broteiweiß und Brotstärke bei frischem und altbackenem Brot mit der Methode der künstlichen Verdauungsversuche. Es wird in entsprechendem P_H-Milieu die Wirksamkeit pflanzlicher und tierischer proteolytischer und diastatischer Fermente, unter anhaltender Durchmischung der Lösungsflüssigkeit, gegenüber frischem und älterem Brot geprüft. Dieses Verfahren vermeidet die im Stoffwechselversuch auftretenden nicht exakt meßbaren Einflüsse. Die Steuerung der Verdauungsvorgänge durch reflektorische und nervöse Beeinflussung der Motilitäts- und Sekretionsvorgänge fällt fort. Im Gegensatz zum Stoffwechselversuch ist also die genaue Bestimmung der Verdaulichkeit der Brotkrume bei gleichbleibender Konzentration und Menge der Fermente, wie auch bei unveränderlicher Durchmischung und Zerkleinerung möglich.

Die Alterung des Brotes ist ursächlich auf eine kolloidchemische Zustandsänderung zurückzuführen. Diese kolloid-

chemische Veränderung innerhalb des Stärke-Eiweiß-Systems im Brot hat eine Erleichterung der Aufspaltung der Kohlehydrat- und Eiweißbestandteile zur Folge. Frisches Brot ist für proteolytische und diastatische Fermente schwer zugänglich. Altbackenes Brot dagegen ist durch die mit Alterung des Brotes auftretenden Strukturveränderungen, die möglicherweise in einer Wasserumlagerung zu suchen sind, für die Fermente besser angreifbar. Die Stärke und das Eiweiß verhalten sich dabei verschieden. Mit dem 5. Tag ist der Prozeß für das Eiweiß abgeschlossen; während die Stärke einen Anstieg der Spaltungswerte in den Versuchsreihen bis zum 10. Tag aufweist, erfährt die Eiweißspaltung nach dem 5. Tag keine wesentliche Aenderung mehr. Die Verdaulichkeit ändert sich also innerhalb der Zeitspanne, in der das Brot praktisch für die Ernährung in Frage kommt.

Frisches Brot wirkt durch zusammenhaftende klebrige Konsistenz dem Verdauungsvorgang entgegen. Mit der kaum Zerkleinerung erfordernden weichen Brotkrume ist kurze Speicheldurchtränkung im Mund verbunden, der zusammenhaftende Speisebrei passiert nach mangelhafter Einwirkung der Motilitäts- und Verdauungsvorgänge im Magen den Pylorus, um wiederum mit der äußerst kleinen Oberfläche des zusammenhaftenden Klumpenbreies den Pankreasfermenten ausgesetzt zu sein. Die im Verdauungsversuch nachgewiesene Hemmung der fermentativen Spaltung bei frischer Brotkrume wird im menschlichen Verdauungskanal durch herabgesetzte Wirkung der Verdauungsmechanismen unterstützt.

Die Konsistenz des altbackenen Brotes erlaubt weitgehende Spaltung durch Fermente. Bei den konstanten Bedingungen der künstlichen Verdauung besteht erhöhte Wirksamkeit der Fermente auf Eiweiß- und Kohlehydratbestandteile des Brotes. Im menschlichen Verdauungsvorgang steht sowohl bei der Zerkleinerung im Mund wie bei Einwirkung der Verdauung in Magen und Darm neben erhöhter Spaltbarkeit der Eiweiß- und Kohlehydratbestandteile günstigere Wirkungsmöglichkeit für Sekretion und Motilität. Die krümelig zerfallende Konsistenz älteren Brotes gewährt genügend Oberfläche für durchgreifende Wirkung der fermentativen wie mechanischen Verdauungsvorgänge.

Altbackenes Brot erfährt eine wesentlich ausgiebigere Aufspaltung in resorbierbare Grundstoffe als das schwer verdauliche frische Brot. Die Ausnutzung der vorhandenen Eiweiß- und Kohlehydratbestandteile ist bei frischem Brot beschränkt, während bei altbackenem Brot durch ausgiebige Verdauung weitgehende Ausnutzung erfolgen kann. Volkswirtschaftlich ge-

sehen heißt das, daß Bedarfsdeckung durch altbackenes Brot die ökonomisch vorteilhafteste Ausnutzung einer vorhandenen Brotmenge bedeutet. Diese Erkenntnis legt uns die Verpflichtung auf, auf den übermäßigen Genuß allzu frischen Brotes zu verzichten und demgegenüber älteres Brot zu bevorzugen. Jede Maßnahme, die eine bessere Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Nahrungsmittelvorräte ermöglicht — auch wenn sie zunächst nur unwesentlich und belanglos erscheint — bringt uns dem Ziel näher, daß sich die deutsche Volkswirtschaft gestellt hat, dem Ziel der deutschen Nahrungsfreiheit!

Zum Schluß der Arbeit sage ich Herrn Professor Dr. Klewitz für Ueberlassung des Themas und Herrn Dozent Dr. Habs für Anregung und Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit meinen verbindlichsten Dank.

Schrifttum.

Heupke, W.: Kolloidchemie und Magendarmdiät. Fortschritte der Therapie, J. 13, Heft 7/8, 1938.

Mancini: Verdaulichkeit altbackenen Brotes mit Speichel. Isti. di studii sup. Firence. Ann. d'ig., J. 32, 93735 bis 937751, 1922.

Neumann, M.-P.: Brotgetreide und Brot. Verlag Parey, Berlin 1929.

Neumann, R.-O.: Das Brot als Nahrungsmittel. Klin. Wochenschrift, J. 40, 1821—1825.

Rona, P.: Praktikum der physiologischen Chemie, I. Teil: Fermentmethoden. Verlag Julius Springer 1926.

Lebenslauf.

Am 26. Januar 1913 wurde ich als Tochter des Facharztes für Chirurgie, Orthopädie und Röntgenheilkunde Dr. Hermann Plagemann und seiner Ehefrau Elisabeth geb. Strömer in Stettin geboren. Ostern 1932 bestand ich die Reifeprüfung an der Studienanstalt in Stettin.

Im Sommersemester 1932 begann ich das Medizinstudium in Rostock, ging dann nach Heidelberg, wo ich das Physikum am 26. Oktober 1934 bestand. Die Turn- und Sportlehrerprüfung legte ich in Heidelberg im Februar 1935 ab.

Zum Wintersemester 1933/34 wurde ich als Sportreferentin an der Universität Heidelberg berufen und war im Sommersemester 1934 Leiterin des Hauptamtes VI der Studentenschaft und Führerin der Hochschulgruppe des NSDStB.

Das Sommersemester 1935 verbrachte ich in Hamburg und studierte ab Wintersemester 1935 in Marburg, wo ich am 21. Dezember 1937 das medizinische Staatsexamen bestand.

Als Medizinalpraktikantin war ich vom 1. Februar 1938 bis 1. Juli 1938 an der Medizinischen Poliklinik, vom 1. Juni 1938 bis 1. Oktober 1938 an der Universitätsfrauenklinik und seit dem 1. Oktober 1938 an der Universitätsnervenklinik, sämtlich in Marburg, tätig.

Meine akademischen Lehrer waren:

in Rostock: Elze, Füchtbauer, Fröhlich, Guttenberg, Hertwig, Schulze, Walden.

in Heidelberg: Bettmann, Bothe, Broemser, Dittmar, Hoepke, Kallius, Kirschner, Krieck, Moro, Stein.

in Hamburg: Berg, Fahr, Mühlens, Sudeck.

in Marburg: Baur †, Becher, Grüter, Kehrer, Klapp, Klewitz, Kretschmer, Pfannenstiel, Schrader, Schwenkenbecher, Uffenorde, Versé.